

СЛАНЦЕВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ: ПРЕДПОСЫЛКИ, ИТОГИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

А.И. Глаголев¹, С.Г. Серебряков²

1 – Международная школа бизнеса РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М.Губкина;

2 – РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М.Губкина

e-mail: serebrogri@hotmail.com

«Сланцевая революция» в освоении нетрадиционных углеводородных (УВ) ресурсов: статистическая оценка

В 2006 г. в США произошел резкий рост добычи газа, а тремя годами позже – и нефти. Добыча нефти за 7 истекших лет продемонстрировала почти двукратный рост, увеличиваясь более чем на 10% в год, а газодобыча за 10 лет выросла в полтора раза, ежегодно прирастая более чем на 4%. Накануне дефляции в 2013 г. нефтедобыча выросла на 14,8%, а годом позже – на 17,4%! Совмещенный график добычи нефти и газа в США с начала XX века по настоящее время представлен на рис. 1.

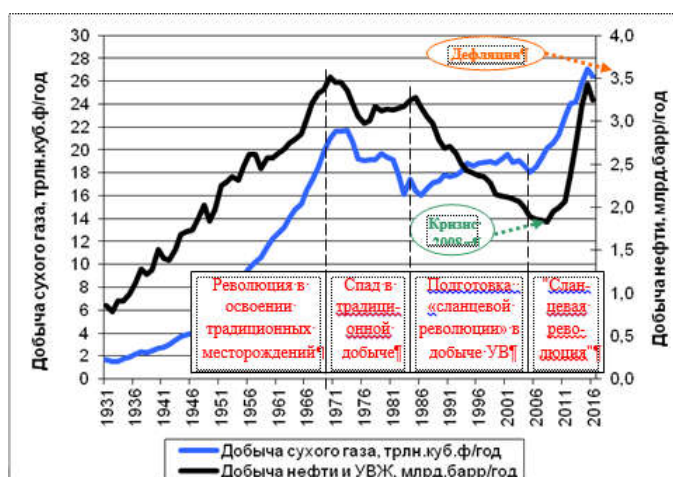


Рис. 1. «Сланцевая революция» в добыче нефти и газа в США (1931–2016 гг.)

Это был ошеломляющий для развитых западных стран результат, где традиционные месторождения десятилетиями эксплуатировались в режиме истощения. Произошло событие, ставшее важнейшим вызовом мировой нефтегазовой индустрии XXI века: началась так называемая «сланцевая революция». Что это за явление и каковы его предпосылки, итоги и перспективы?

В 2011–2012 гг. коллективом авторов были проанализированы оценки нетрадиционных УВ ресурсов по странам мира [1] и рассмотрены технологический и экономический механизмы «сланцевой революции» в США за пятилетний период (2006–

2011 гг.) [2]. В этих работах была представлена классификация коммерчески осваиваемых нетрадиционных УВ ресурсов (рис. 2), в том числе тех, которые стали основой «сланцевой революции» – легкой нефти из плотных коллекторов (Light Tight Oil, LTO) и сланцевого газа (Shale Gas, SG).



Рис. 2. Коммерчески осваиваемые нетрадиционные УВ ресурсы (Н. Гафаров, А. Глаголев [2])

В настоящей работе анализируются итоги «сланцевой революции» за 10 лет. На рис. 1 виден наступивший в 2016 г. временный спад добычи нефти и газа в связи с дефляцией. Поэтому десятилетнюю фазу (2006–2016 гг.) можно считать завершённой.

Проекты «сланцевой революции»: слияния и поглощения

Рассмотрим проекты, давшие толчок «сланцевой революции».

Ключевые проекты «сланцевой революции», реализованные в форме слияний и поглощений

Дата закрытия сделки	Покупатели компаний/ активов	Продавцы и их активы	Стоимость сделки, млрд\$
авг. 2001	DevonEnergy	Mitchell Energy	3,5
дек. 2005	ConocoPhillips	Burlington Resources	35,6
сент. 2008	BP	Chesapeake Energy (25%)	1,9
нояб. 2008	Statoil	Chesapeake Energy (32,5% Marcellus)	3,4
нояб. 2009	Chevron	Atlas Energy	4,3
дек. 2009	ExxonMobil	XTO Energy	36,0
январь 2010	Total	Chesapeake Energy (25% Barnett)	2,3
май 2010	Shell	East Resources (Marcellus)	4,7
дек. 2012	CNPC/Petrochina	Encana (49,9% Duvernay)	2,2
фев. 2013	CNOOC	Nexen	15,1
фев. 2013	Sinopec	Chesapeake Energy (50% Mississippi Lime)	1,0
Итого			110,0

Как видно из таблицы, ключевые проекты «сланцевой революции» осуществлялись в форме слияний и поглощений компаний и активов. Такая стратегия мейджоров объясняется тем, что они «проспали» технологическую революцию, а локомотивами освоения нетрадиционных ресурсов стали средние компании. Гиганты решили наверстать упущенное через покупку их активов, получив доступ к сланцевым технологиям и одновременно оптимизировав добычу, чтобы не допустить перепроизводства и ценового коллапса. Эта деятельность часто оказывалась убыточной, однако инвесторы не экономили на венчурных проектах: общая стоимость только крупнейших сделок составила 110 млрд долл. Сланцевые проекты начались в США, но, как видно из таблицы, были повсеместно признаны крупнейшими британскими, норвежскими, голландскими, французскими, китайскими, южнокорейскими, австралийскими и другими компаниями.

Технологии «сланцевой революции»: вклад бизнеса и государства

Анализ предпосылок «сланцевой революции» показал, что она явилась результатом более чем сорокалетней подготовительной работы по разработке новых технологий добычи. Выделим четыре фактора, ставших ее драйверами.

Важнейшую роль в ней сыграли разработка и двухсотлетнее развитие **технологий добычи**. Первый газ из сланцев был получен У. Хартом в 1821 г. во Фредонии (штат Нью-Йорк), а первый разрыв пластов с помощью пороховых зарядов был осуществлен там же П. Бармором. Первый коммерческий гидроразрыв пласта (ГРП) провела компания Halliburton в Оклахоме в 1949 г. Для сравнения отметим, что первый ГРП в СССР был осуществлен в Донбассе в 1954 г. на метаноугольных залежах, а годом позже в Институте нефти АН СССР академик С. Христианович и геолог Ю. Желтов создали первую в мире математическую модель ГРП [3]; позднее, в 1987–1995 г., Желтов развивал концепцию ГРП в стенах ИПНГ РАН, в котором он работал заместителем директора.

Внедрение технологий добычи происходило при **государственной поддержке** со стороны Министерства энергетики США, организовавшего испытательные полигоны для нефтяников и газовиков. В 70-х годах, когда добыча газа в США начала стремительно падать, Минэнерго США создало центр Morgantown Energy Research Center (MERC), который осуществил проект Eastern Shale Gas Project (ESGP). Уже в 1976 г. в центре MERC был запатентован метод направленного бурения в сланцевых породах, а через 10 лет под эгидой Минэнерго США был впервые проведен многостадийный ГРП в горизонтальной скважине в округе Wayne в Западной Вирджинии [4].

Мощный толчок «сланцевой революции» дала **либерализация газовой отрасли**.

В 1978 г. в США был принят Закон о газовой политике и создана Федеральная комиссия по энергетическому регулированию, которая рекомендовала добывающим газовым компаниям избавиться от трубопроводных активов (unbundling) и перейти от контрактных цен «take or pay» к спотовым. Закон о дерегулировании газовых цен на устье скважины 1989 г. сделал эти требования обязательными. На диаграмме рис. 3 видно, что либерализация газовой отрасли сначала сдерживала падение добычи газа, а затем стимулировала ее рост.

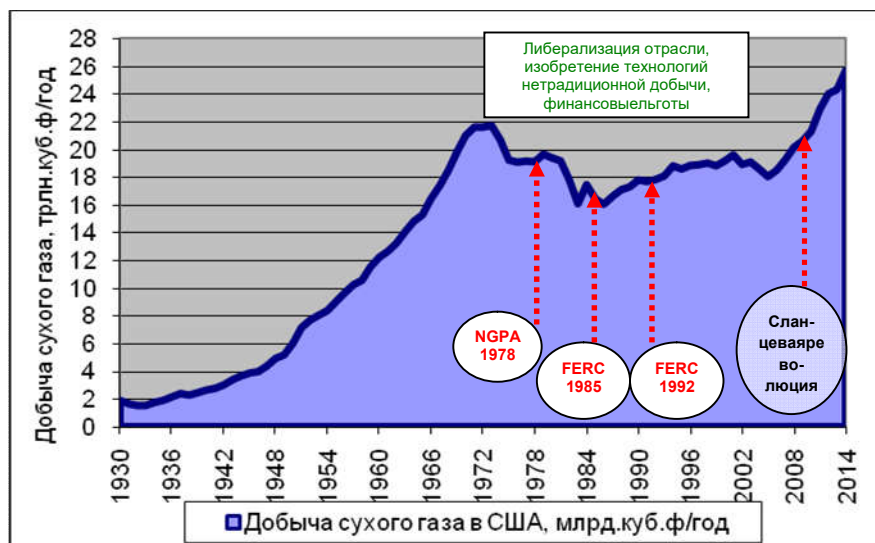


Рис. 3. Воздействие либерализации газовой отрасли США на объемы газодобычи в 1978–1992 гг.

Либерализация газовой отрасли активизировала **инновационную творческую инициативу** газовиков и нефтяников, которые стали смелее экспериментировать с технологиями освоения нетрадиционных ресурсов. Наиболее успешным из них оказался Д.Ф. Митчелл, который совершил одно из величайших открытий в мировой нефтегазовой отрасли и которого по праву называют «отцом сланцевой революции». В 1991 г. его компания Mitchell Energy при поддержке Института газовых технологий (GRI) успешно пробурила первую горизонтальную скважину на месторождении Barnett в Техасе и приступила к ГРП. В середине 90-х гг. команда Митчелла разработала особую гелевую жидкость на основе «гуаровой камеди», увеличивающую вязкость воды и снижающую ее трение при закачке. Комбинация горизонтальных скважин, ГРП и проппанта, состоящего из песка и гелевой жидкости, обеспечила в 1998 г. ошеломляющие дебиты газа из сланцевых пластов Barnett'a. Затратив за 10 лет на свои эксперименты 10 млн долл.,

Д. Митчелл в 2001 г. продал свои активы компании Devon Energy за 3,5 млрд долл. Эта сделка может считаться самой выгодной в истории нефтегазовой промышленности мира.

Технологии нетрадиционной добычи оказалось возможным использовать на «старых» месторождениях. Крупные компании, имевшие доступ к современным методам бурения горизонтальных скважин и ГРП, перенесли их на истощенные месторождения, давая им «второе рождение». Например, традиционные нефтяные залежи месторождения Bakken в Северной Дакоте и Монтане были полностью истощены за 50 лет эксплуатации, но в начале XXI века продемонстрировали рекордные дебиты после того, как сланцевые компании перенесли сюда технологии добычи Дж. Митчелла, которые успешно использовались на Barnett'е в Техасе.

Геология поиска и освоения нетрадиционных ресурсов

«Сланцевая революция» породила **новые методы геологоразведки**. Эксперты Геологической службы США доказали, что в нетрадиционных формациях отсутствуют ловушки и резервуары, а сами залежи носят «непрерывный» (слитный, континуальный) характер; в этом случае геологи и разработчики ищут не месторождения, резервуары и ловушки, а продуктивные формации, которые оконтуриваются по наличию идентичных продуктивных пластов в скважинах, разбросанных на площадях в тысячи квадратных километров. Отличие континуальных залежей от структурных и стратиграфических показано на рис. 4.

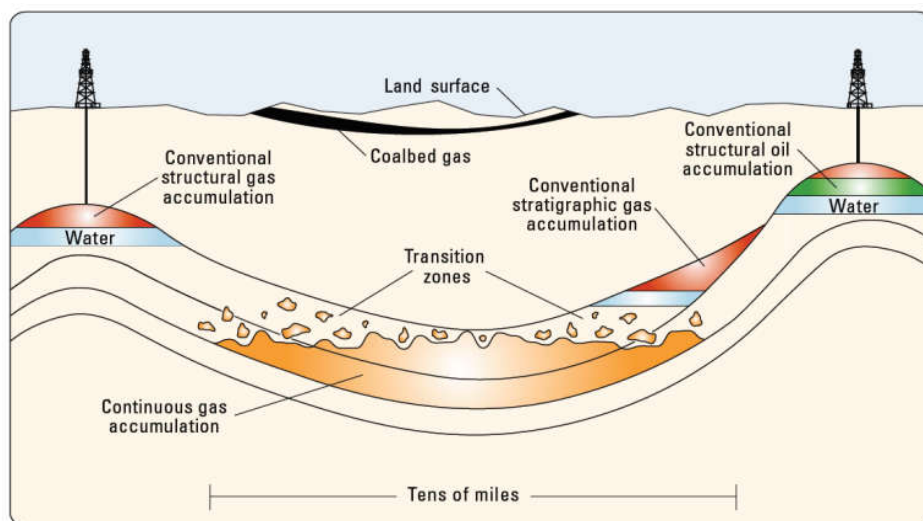


Рис. 4. Геология освоения нетрадиционных ресурсов УВ: непрерывные залежи [5]

Каждая оконтуренная залежь формирует так называемый «плей» (play), который получает название по данной продуктивной формации: Marcellus, Haynesville, Bakken и

проч. В каждом плее содержатся преимущественно газовые или нефтяные коллекторы, но бывают и нефтегазовые совмещения. В каждом нефтегазовом бассейне могут одновременно находиться до 5–6 продуктивных формаций, расположенных друг над другом: их проекция на поверхность определяет контуры плеев.

Подсчет запасов нетрадиционных УВ ведется в США на основе системы PRMS по трем категориям 1P, 2P и 3P и с учетом требований Комиссии по ценным бумагам и биржам (SEC). Популярным стал показатель «расчетных конечных извлекаемых запасов» (Estimated Ultimate Recovery, EUR), который зависит не от объема резервуаров, а от динамики падения дебитов пробуренных скважин и от размеров площадей, арендуемых компанией. Графики дебитов сланцевых скважин имеют, как правило, форму экспоненциальной или гиперболической функции, что позволяет находить форму кумулятивной добычи и, следовательно, объем извлекаемых запасов для средней скважины. Определяется средний суммарный дебит 6–8 горизонтальных скважин, разбуриваемых с одной «стандартной буровой площадки» (DSU) в 1280 акров (518,4 га), и этот дебит умножается на число арендуемых DSU, что позволяет с достаточной определенностью выявить объем доказанных запасов компании. Он указывается в годовых отчетах компаний с разделением на «осваиваемые» и «неосваиваемые» запасы, суммарно по традиционной и нетрадиционной категориям.

Расчет извлекаемых запасов ведется строго в соответствии с ценами газового и нефтяного рынка. Нетбэк-анализ позволяет вычислить цену безубыточности (break-even price, BEP), которая составляет предел для маржинальных издержек добычи УВ нетрадиционных коллекторов.

Экономика «сланцевой революции»: сдвиг точки безубыточности

Важнейшим итогом «сланцевой революции» стало кратное сокращение предельных издержек и, соответственно, радикальное снижение цен безубыточности. Авторами разработана модель «цена–добыча», позволяющая определить цену безубыточности добычи нефти и газа с учетом «сланцевой революции». Рассмотрим график цены безубыточности для нефти (рис. 5).

Сравним динамику цены и добычи нефти. Цена нефти WTI начала падать в июне 2014 г., тем не менее добыча продолжала расти еще год: по-видимому, руководители сланцевых компаний надеялись, что дефляция не будет долгой; однако надежды не оправдались, и производство с июня 2015 г. начало сокращаться. Цена достигла «дна» в

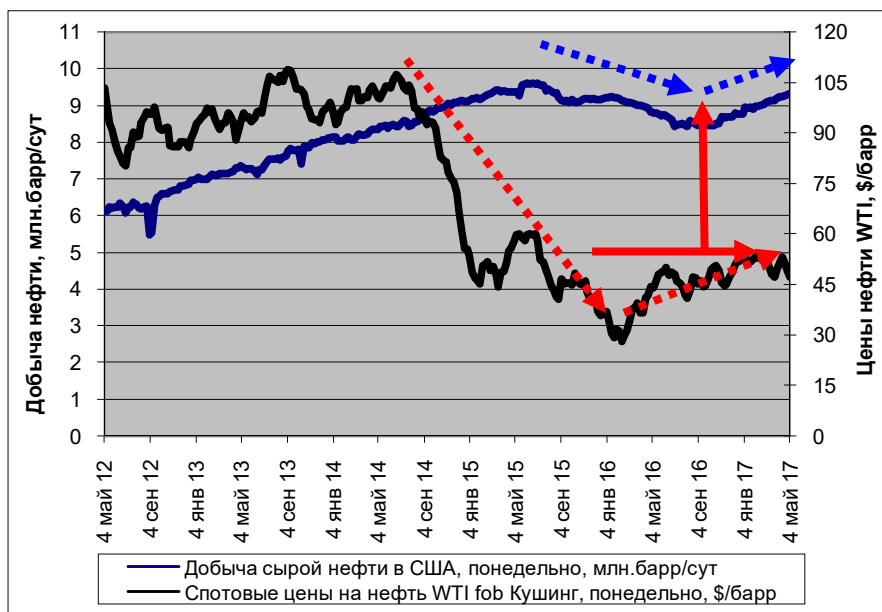


Рис. 5. Модель цены безубыточности добычи нефти, с учетом «сланцевой революции»

30\$/барр, а затем совершила отскок. Добыча по-прежнему отставала от цен с лагом в год, но когда цена пересекла «красную черту» в 45 \$/барр, добыча начала наверстывать упущенное. Таким образом, добыча нефти демонстрирует смену падающего тренда на восходящий и наоборот на уровне 45 \$/барр, что позволяет считать его ценой безубыточности нефтедобычи на сегодняшний день и ближайшее будущее. При цене 50 \$/барр сланцевые компании чувствуют себя комфортно, имея годовую прибыль на уровне 10%. Вспомним, однако, что до дефляции они едва укладывались в цены того времени, колебавшиеся на уровнях 110–120 \$/барр.

Обратимся к газодобыче и ее динамике в зависимости от цен на газ. В 1996–2005 гг. добыча газа в США стабилизировалась, а цена выросла в 4 раза, до 12 \$/млн бте (бте – британская тепловая единица, 1 бте = 1055 Дж). В следующей декаде 2006–2015 гг. (рис. 6) добыча газа выросла в полтора раза, а цена на газ упала в 4 раза – до 2 \$/млн бте. Низкие цены привели к снижению газодобычи в 2016 г., что, в свою очередь, подтолкнуло вверх цены, поднявшиеся до 3 \$/млн бте. Подобная взаимосвязанная добыча в краткосрочном периоде складывается на уровне 3 \$/млн бте, что соответствует 115 \$/тыс. куб. м. Этот же показатель пять лет назад был в 2–2,5 раза выше: таков главный итог «сланцевой революции».

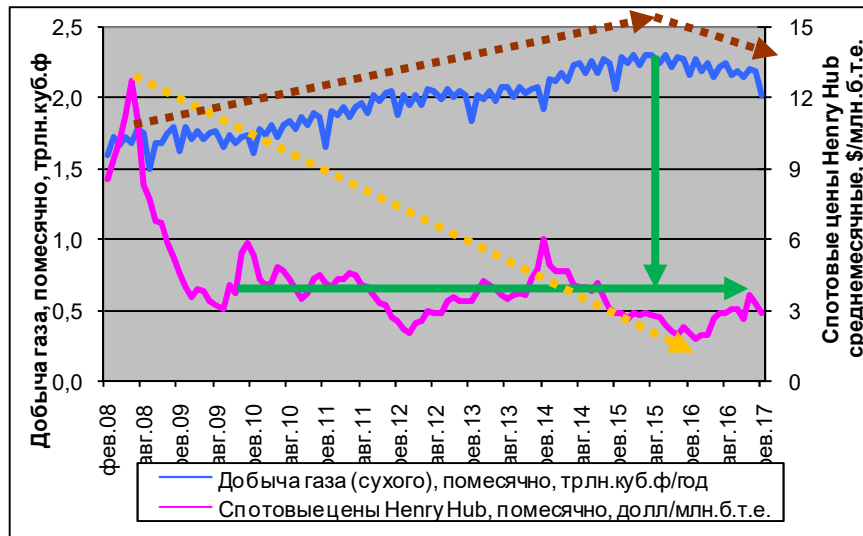


Рис. 6. Модель цены безубыточности добычи газа, с учетом «сланцевой революции»

Воздействие «сланцевой революции» на рынки УВ: дефляция

«Сланцевая революция» за последние 7 лет обеспечила двукратное увеличение добычи нефти в США. В пересчете на суточную производительность, она выросла на 4 млн барр в сутки, что составило всего 4,3% мирового предложения нефти, однако этот прирост сыграл роковую роль. Обратимся к графику глобального спроса и предложения нефти, составленному в 2016 г. Управлением энергетической информации (УЭИ) США и показанному на рис. 7, где лиловым цветом выделен прирост нефтедобычи в середине 2014 г, нарушивший хрупкое равновесие глобального нефтебаланса и повлекший за собой дефляцию нефтяных цен.

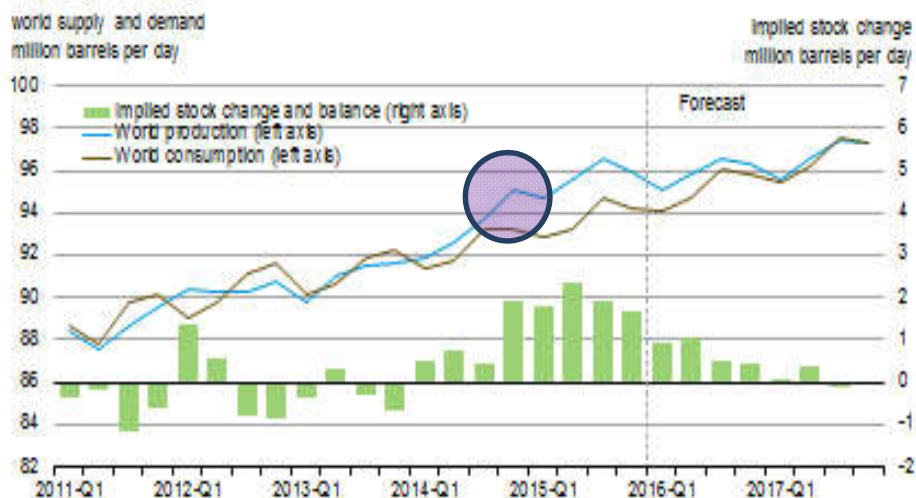


Рис. 7. Глобальный баланс спроса и предложения сырой нефти в 2011–2017 гг. [6]

Разумеется, «сланцевая революция» была не единственным фактором, деформировавшим баланс: в том же направлении действовали и другие рычаги – договоренности между США и Саудовской Аравией, наращивание добычи в Ливии и Ираке, снятие санкций с Ирана, замедление темпов роста добычи и снижение импорта нефти Китаем и проч. Однако расчеты показывают, что не менее половины «профицита» нефтяного баланса можно отнести на счет американских сланцевых компаний.

Масштабы последовавшей дефляции поражают воображение: цены на нефть за год, начиная с июня 2014 г., упали в два с половиной раза (рис. 8). График, представленный на рис. 8, показывает цены на газ и нефть в сопоставимых единицах (\$/млн бте), что позволяет сравнить их динамику. Падение цены на нефть марки Brent вызвало снижение цен на газ, но первые падали быстрее вторых. Самыми низкими оказались цены на газ в США на узле Henry Hub (НН), что стало итогом «сланцевой революции». «Отскок» нефтяных цен с начала 2016 г. не сопровождался аналогичной динамикой газовых цен. Очевидно, газовые цены в Европе и Азии теперь ориентируются не только на нефть и нефтепродукты, но и на параметры узла НН. В конце 2016 г. США стали экспортером СПГ, что сформировало дефляционные ожидания импортеров газа – Европы, Китая, Японии и других стран.

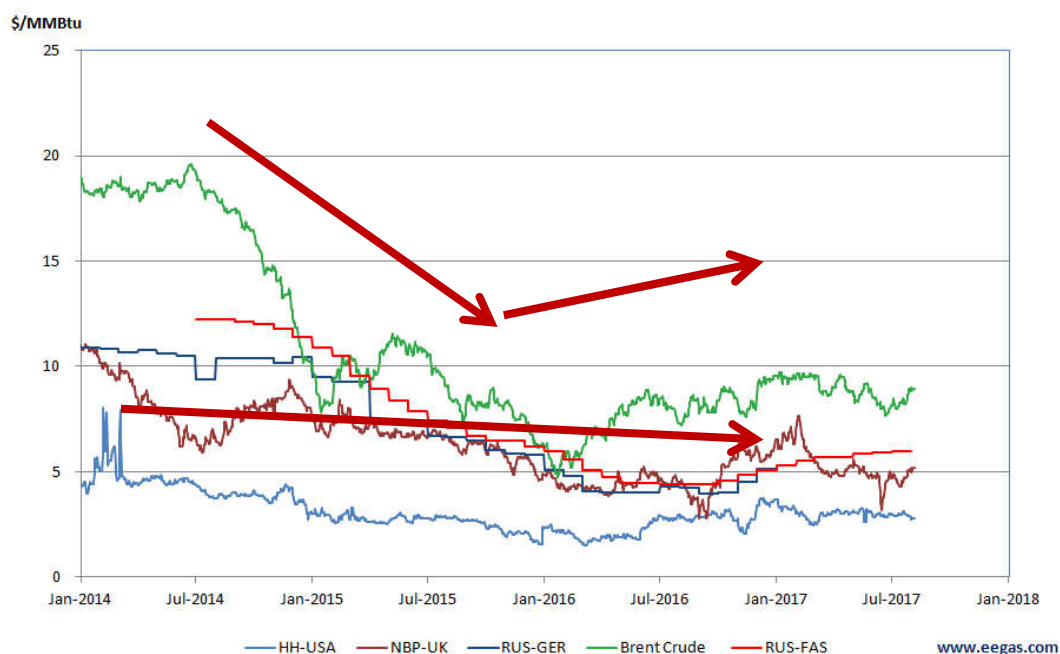


Рис. 8. Динамика мировых и региональных цен на нефть и газ, \$/млн бте, 2014–2017 гг. [7]

Будущее «сланцевой революции»: некоторые прогнозные модели

В 2011 г. авторы построили нестационарную прогнозную модель мировой добычи газа и нефти с учетом «сланцевой революции» [8]. В ней использована модель «колокола» М.К. Хабберта с переменным, а не постоянным показателем ресурсов. Хабберт считал свой прогноз окончательным и не предусматривал технологической революции. В модели авторов такая революция обнаруживается, если на нисходящей фазе «колокола» появляются зачатки восходящего тренда, которые показаны на рис.2, и их появление мы объясняем «сланцевой революцией». Повысившийся объем извлекаемых ресурсов делает необходимым пересчет формулы прогноза и построение «второго колокола».

Именно эта модель позволила авторам обосновать наступление «эры «газа», идущей на смену «эры нефти» в XXI в. (рис. 9).

Графики на рис. 9 показывают, что если в нынешнем столетии будет реализован базовый сценарий извлечения только традиционных ресурсов, «газовая эра» наступит в начале 40-х гг., а если «сланцевая революция» распространится по миру, то перелом наступит в начале 30-х гг. Именно в этих точках газодобыча обгонит нефтедобычу и откроет «газовую эру».

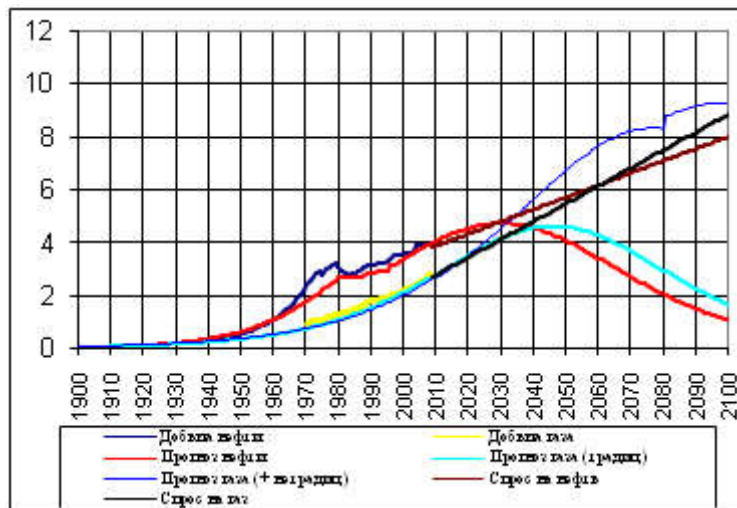


Рис. 9. Прогноз мировой добычи нефти и газа с учетом «сланцевой революции» в XXI в. [8]

В 2014 г. наш прогноз по нефтедобыче был уточнен, а затем сопоставлен с прогнозами 2013 г. Управления энергетической информации США (рис. 10).

Прогнозная модель Минэнерго США 2013–2014 гг. допускала, наряду с базовым, и оптимистический сценарий, в котором предполагался рост добычи нефти вплоть до

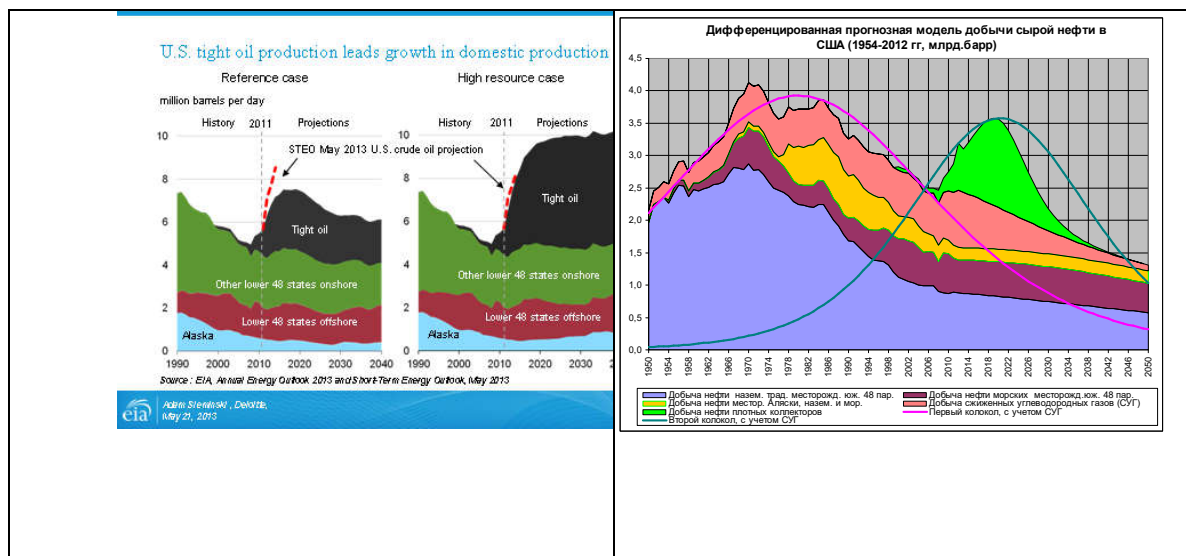


Рис. 10. Горизонты «сланцевой революции», по данным Управления энергетической информации США [9] и авторской модели (2013–2014 гг.)

2040 г. за счет завышенных оценок запасов и добычи нефти из плотных коллекторов (LTO). В нашем прогнозе строится второй «колокол» добычи и доказывается, что второй локальный «пик» нефтедобычи, включая нефть LTO, наступит существенно раньше, в начале 20-х гг. Этот подход совпал с базовым сценарием Минэнерго США 2014–2015 гг., несмотря на то что оба прогноза строились на разных моделях. Таким образом, рассмотренная на примере США нестационарная прогнозная модель дала результат, сопоставимый с американским прогнозом и, очевидно, может быть применена для прогноза как мировой добычи нефти, так и добычи в отдельных странах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гафаров Н., Калитюк С., Глаголев А., Моисеев А. Глобальный газовый бизнес XXI века: новые тенденции, сценарии и технологии. М.: Газпром экспо, 2011. 318 с.
2. Гафаров Н.А., Глаголев А.И. Освоение нетрадиционных УВ-ресурсов в США: современное состояние и перспективы // Газовая пром-сть. 2012. № 11. С. 48–53.
3. Желтов Ю.П., Христианович С.А. О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. № 5. С. 3–41.
4. Trembath A., Jenkins J., Nordhaus T., Shellenberger M. Where the shale gas came from. Government's role in the development of hydraulic fracturing in shale // Oakland: The Breakthrough Institute, 2012. P. 3.

5. *Cook T.* Calculation of estimated ultimate recovery (EUR) for wells in continuous-type oil and gas accumulations // USGS. Petroleum Systems and Geologic Assessment of Oil and Gas in the Southwestern Wyoming Province, Wyoming, Colorado and Utah. Colorado, 2005. Chapter 23.

6. *Sieminski A.* Cyclical and structural changes in oil markets: presentation. N. Y., 2016. Slide 1.

7. *Корчемкин М.* NBP vs ZEE – Англия удалилась от континентальной Европы // ЖЖ Михаила Корчемкина «Особенности национального газового бизнеса». 15 июня 2017. – URL: <http://m-korchemkin.livejournal.com/>

8. *Глаголев А.И., Орлов Ю.Н.* Моделирование и прогноз динамики нефтегазового сектора // Будущее прикладной математики: Лекции для молодых исследователей. Поиски и открытия / под ред. Г.Г. Малинецкого. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. С. 439–464.

9. *Sieminski A.* Outlook for shale gas and tight oil development: presentation // Deloitte Energy Conference. Wash., DC, 2013. Slide 11.